

*Н. С. Никитенко<sup>1✉</sup>, А. В. Бритвин<sup>1</sup>, Б. В. Поллер<sup>1,2</sup>*

## **Методы оптимизации люминесцентных антенн для атмосферных ультрафиолетовых телекоммуникаций**

<sup>1</sup>Институт лазерной физики СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, Российская Федерация  
e-mail: nikitenkons@mail.ru

**Аннотация.** Полимерные люминесцентные антенны представляют интерес благодаря разнообразию форм, малому весу, широким углам поля зрения и устойчивости к электромагнитному воздействию. Доступность оптических полимеров и ультрафиолетовых (УФ) люминофоров, а также шаг вперед в производстве УФ полупроводниковых излучателей стимулировали разработку ультрафиолетовых атмосферных телекоммуникаций. Приведены методы, позволяющие повысить эффективность применения планарно-волоконных люминесцентных антенн в системах связи.

**Ключевые слова:** атмосферная ультрафиолетовая линия связи, полимерные планарно-волоконные структуры, люминесцентная антенна

*N. S. Nikitenko<sup>1✉</sup>, A. V. Britvin<sup>1</sup>, B. V. Poller<sup>1,2</sup>*

## **Methods of optimization of luminescent antennas for use in atmospheric ultraviolet telecommunications**

<sup>1</sup> Institute of Laser Physics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: nikitenkons@mail.ru

**Abstract.** Polymer luminescent antennas are of interest due to their variability in shape, low weight, wide field of view and resistance to electromagnetic interference. The availability of optical polymers and UV luminophores, as well as advances in the production of UV semiconductor emitters, have stimulated the development of UV communication systems. Methods are presented that allow increasing the efficiency of using planar-fiber luminescent antennas in communication systems.

**Keywords:** atmospheric ultraviolet communication line, polymer planar-fiber structures, luminescent antenna

### ***Введение***

Увеличение объемов передаваемой информации вне помещений и рост потребностей в передачи данных между мобильными объектами без использования радиодиапазона создают потребность в разработке атмосферных оптических линий связи с новыми диапазонами и антенными преобразователями [1-5].

Люминесцентные антенны (ЛА) представляют собой планарные и волоконные преобразователи с гомогенно распределенными люминофорами в матрице из оптических полимеров. Преобразователи способны поглощать излучение и переизлучать его на другой длине волны. За счет волноводного эффекта излучение люминесценции распространяется по волноводу и поступает к выходным торцам ан-

тенны. ЛА обладают углом поля зрения до 120 градусов, небольшим весом (несколько десятков грамм, в зависимости от размеров) и гибкостью конфигурации при изготовлении, пригодны для работы в условиях сильных электромагнитных помех и во взрывоопасных зонах.

Использование люминофоров со спектром поглощения в УФ области позволяет исключить влияние прямой солнечной засветки (солнечно-слепой диапазон). Для использования в ЛА перспективны оптические полимеры (полиметилметакрилат (ПММА), акриловые смолы) и люминофоры группы кумаринов.

Для получения энергоэффективных, быстрых преобразователей необходимы методы оптимизации для определения материала полимерной матрицы, для выбора люминофора с высокой квантовой эффективностью. Необходимы методы оптимизации спектральных характеристик матрицы, люминофора, фильтров, источников информации и детектора для достижения необходимой пропускной способности, помехозащищенности и энергоэффективности.

### ***Метод с применением фотостойчивых люминофоров с высоким квантовым выходом***

Энергоэффективность системы является важной эксплуатационной характеристикой. Во время эксплуатации под воздействием внешних факторов квантовый выход люминесценции постепенно снижается. Метод определения фотостойчивых люминофоров позволяет увеличить срок службы уличной ЛА.

В проведенных нами ранее исследованиях [6] установлено, что люминесцентные антенны с люминофорами кумарин 47, 120 более устойчивы к солнечному облучению, чем люминесцентные антенны с люминофорами РОРОР, NOL8.

В работе [7] докладывается о синтезе и испытаниях фотостойкости новых люминофоров – аналогов кумаринов 47, 120, которые на 20-28% более устойчивы к действию мощного светового излучения.

### ***Метод оптимизации ЛА с применением защитных фильтров***

Применение защитных оптических фильтров позволяет увеличить пропускную способность УФ-линий связи, сократив воздействие излучения вне диапазона длин волн передатчика, снизить уровень помех и защитить полимерные структуры от пыли и загрязнений.

При проведении экспериментов с люминесцентными антеннами со спектром поглощения в УФ области использовали защитный фильтр УФС–5 для выделения областей спектра 250-400 нм и УФС–8 для выделения областей спектра 320-390 нм [3,8].

Спектральный диапазон солнечной радиации от 280 нм и меньше блокируется озоновым слоем планеты и атмосферой. Отсутствие естественных помех, обусловленных солнечным излучением, в УФ-С диапазоне делает солнечно-слепой диапазон перспективным для люминесцентных антенн атмосферных ультрафиолетовых телекоммуникаций.

Применение передатчиков с длиной волны излучения менее 280 нм и УФ-люминофоров позволяет снизить уровень оптических помех для УФ-линий связи.

### ***Оптимизация квантовых параметров ЛА за счет применения поверхностно-активных веществ (ПАВ)***

На квантовый выход люминесцентной антенны влияет не только выбор начальных компонентов – полимера матрицы и люминофора, но и способ распределения люминофора в матрице.

Растворение с ПАВ люминофора перед вводом в раствор полимера позволяет увеличить растворимость люминофоров, сдвигать спектры флуоресценции, увеличить квантовый выход и фотостабильность.

В статье [9] приводится сравнение квантового выхода кумаринов 334, 343 в полимерных матрицах в зависимости от применяемых ПАВ. Данные о спектрально-люминесцентных свойствах кумаринов в ПММА и поликарбонате (ПК) в присутствии ПАВ представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

Спектрально-люминесцентные свойства кумаринов в полимерных матрицах

| Люминофор   | Полимер | ПАВ          | Квантовый выход |
|-------------|---------|--------------|-----------------|
| Кумарин 334 | ПММА    | Brij 35      | 0,89            |
|             |         | Triton X-100 | 0,75            |
|             |         | Tween 40     | 0,83            |
|             | ПК      | Brij 35      | 0,78            |
|             |         | Triton X-100 | 0,70            |
|             |         | Tween 40     | 0,74            |
| Кумарин 343 | ПММА    | Brij 35      | 0,80            |
|             |         | Triton X-100 | 0,73            |
|             |         | Tween 40     | 0,68            |
|             | ПК      | Brij 35      | 0,77            |
|             |         | Triton X-100 | 0,69            |
|             |         | Tween 40     | 0,66            |

Подбор и использование ПАВ при разработке технологии производства люминесцентных антенн, в соответствии с материалом матрицы и применяемых люминофоров, позволяет оптимизировать энергоэффективность ЛА.

### ***Оптимизация быстродействия ЛА***

Быстродействие полимерных преобразователей определяется кинетикой люминофора. Высокие значения скоростей испускания для переходов флуоресценции приводят к временам затухания флуоресценции порядка 1-10 нс.

Исследование кинетики люминофоров кумарин 47, 120, NOL8 в акриловой пленке показало, что количество фотонов снижается в 100 раз за 14-19 нс [6].

Время затухания флуоресценции люминофора, равное 10 нс, ограничит максимальную скорость передачи информации значением 100 Мбит/с. Реабсорбция приведет к ограничению максимальной скорости передачи информации до 50 Мбит/с или к увеличению количества битовых ошибок. Время затухания, равное 1 нс, позволит достигнуть скорости передачи информации 1000 Мбит/с.

## ***Заключение***

Изготовленные люминесцентные антенны из оптических полимеров с добавками фотоустойчивых УФ-люминофоров продемонстрировали возможность передачи через атмосферу цветного видеосигнала высокого качества [9]. Применение приведенных методов оптимизации также позволяет повысить время эксплуатации люминесцентных антенн [10]. Потенциальная пропускная способность люминесцентных антенн может достигать 1000 Мбит/с на одной длине волны.

Люминофоры группы кумаринов перспективны для применения в планарно-волоконных приемных антеннах атмосферных ультрафиолетовых систем.

При использовании солнечно-слепого диапазона в УФ-линии связи значительно увеличивается устойчивость к солнечным помехам.

## ***Благодарности***

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и образования РФ (НИОКТР Рег. № 121033100068-7).

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Багаев С. Н., Бритвин А. В., Поллер Б. В. и др. Развитие лазерных информационно-сенсорных систем с планарными волноводами и элементами микрооптики для наземно-космических телекоммуникаций и локальных сетей связи и контроля // Проблемы функционирования информационных сетей: Материалы IX международной конференции. – Прайс Курьер. – 2006. – С. 22–25.
2. Поллер Б. В., Бритвин А. В., Щетинин Ю. И. О построении систем ориентации беспилотных летательных аппаратов с использованием ультрафиолетовых лазеров и полимерных волноводных антенн // 11 межд. научно-техн. конференция «Радиолокация, навигация, связь». – Воронеж: ВГУ. – 2008. – С. 8–10.
3. Бритвин А. В., Коняев С. И., Никитенко Н. С., Поважаев А. В., Поллер Б. В., Щетинин Ю. И. Методы построения и экспериментальные характеристики ультрафиолетовых атмосферных линий связи // Успехи современной радиоэлектроники. 2019. № 1. – С. 21–25.
4. Peyronel T., Quirk K. J., Wang S. C., Tiecke T. G. Luminescent detector for free-space optical communication // Optica. – 2016. – Vol. 3, No. 7. – P. 787–792.
5. Manousiadis P. P., Rajbhandari S., Mulyawan R., Vithanage D. A., Chun H., Faulkner G., O'Brien D. C., Turnbull G. A., Collins S., Samuel I. D. W.. Wide field-of-view fluorescent antenna for visible light communications beyond the étendue limit // Optica, 2016. – Vol. 3. No. 7. – P. 702–706.
6. Бритвин А. В., Никитенко Н. С., Плюснин В. Ф., Поллер Б. В., Поллер А. Б., Шахов Н. В. О фотостабильности акрилатных и полиметилметакрилатных планарно-волоконных структур с люминофорами Coumarin 7, 47, 120; POPOP; NOL8 для ультрафиолетовых информационных систем // Оптика и спектроскопия. – Т. 130, выпуск 2. – 2022. – С. 311–316.
7. Комлев И. В. Синтез и исследование органических люминофоров и других функциональных соединений для современных световых технологий // Диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук: 02.00.03. – Москва. – 2016. – 426 с.
8. Бритвин А. В., Плюснин В. Ф., Поллер Б. В., Никитенко Н. С. Энерго-временные преобразования лазерных импульсов в полимерных структурах с люминофорами для систем телекоммуникаций с беспилотными летательными аппаратами // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2018. – Т. 2. № 5. – С. 211–221.
9. Цаплев Ю. Б. Настройка люминесцентных преобразователей на основе кумаринов и их фотостабильность // Прикладная спектроскопия. Том 84. № 5. – 2017. – С. 803–809.
10. Бритвин А. В., Никитенко Н. С., Поллер А. Б., Поллер Б. В., Шахов Н. В. Характеристики трендов в динамике излучения полимерных планарно-волноводных структур с люминофорами для ультрафиолетовых информационных систем при длительных натурных испытаниях // Проблемы информатики. – 2022. № 3. – С. 5–13.

© Н. С. Никитенко, А. В. Бритвин, Б. В. Поллер, 2025